



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002236301 A**(43) Date of publication of application: **23.08.02**

(51) Int. Cl.

G02F 1/365**H01S 3/10****H01S 5/065****H01S 5/125**(21) Application number: **2001034360**(22) Date of filing: **09.02.01**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**(72) Inventor: **YAMADA HIDEKAZU
SATO NORIFUMI
TAKARA HIDEHIKO
OHARA TAKUYA
MORIOKA TOSHIO**(54) **CONTINUOUS LIGHT SOURCE**

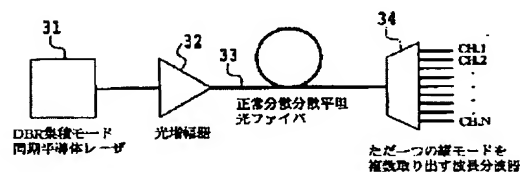
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a multi-wavelength continuous light source or a single-wavelength continuous light source with a favorable SN ratio.

SOLUTION: By using a distributed Bragg reflector-accumulated mode-locked semiconductor laser 31, a large number of continuous light beams with a favorable SN ratio can be generated. By using a normal dispersion flat optical fiber 33, little degradation of the SN ratio is caused over the whole region of a spread spectrum, the intensity of the generated continuous light is made large, and the variation of the light intensity depending on the wavelength is minimized. The optical frequency spectrum of a repetitive light pulse train generated with the laser 31 consists of the longitudinal modes of a frequency interval corresponding to the repetition frequency. When this pulse train is amplified with a light amplifier 32 and sent into the normal dispersion flat optical fiber 33 by maintaining a large intensity, the optical spectrum turns into a broadband optical spectrum while the pulse train is propagating through the optical fiber. The single-wavelength- or the multi-wavelength continuous

light source is obtained by taking out one or a large number of one longitudinal mode from the broadband optical spectrum by using a wavelength demultiplexer 34.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-236301
(P2002-236301A)

(43) 公開日 平成14年8月23日 (2002.8.23)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)	
G 0 2 F	1/365	G 0 2 F	1/365	2 K 0 0 2
H 0 1 S	3/10	H 0 1 S	3/10	Z 5 F 0 7 2
	5/065		5/065	5 F 0 7 3
	5/125		5/125	

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2001-34360 (P2001-34360)

(22) 出願日 平成13年2月9日 (2001.2.9)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 山田 英一

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 佐藤 憲史

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100077481

弁理士 谷 義一 (外1名)

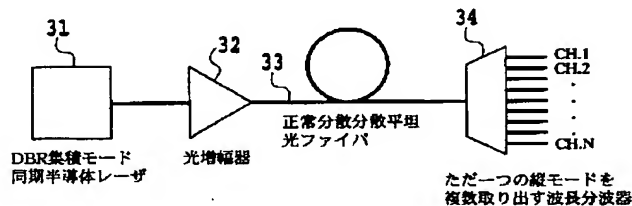
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 連続光光源

(57) 【要約】

【課題】 信号対雑音比が良い多波長連続光光源あるいは一波長連続光光源を提供する。

【解決手段】 分布ブラッグ反射器集積モード同期半導体レーザ31を用いることで、信号対雑音比の良い多数の連続光を発生できる。正常分散分散平坦光ファイバ33を用いることで、広がったスペクトルの全域において信号対雑音比の劣化が少なく、発生した連続光の強度が大きく、波長による強度のばらつきが小さい。そのレーザ31から発生した繰り返し光パルス列の光周波数スペクトルは、繰り返し周波数に相当する周波数間隔の縦モードで構成される。このパルス列を光増幅器32で増幅して、強い強度で正常分散分散平坦光ファイバ33へ入射すると、光ファイバを伝搬するうちに、光スペクトルは広帯域な光スペクトルになる。広帯域な光スペクトルから波長分波器34を用いて1つの縦モードを一つまたは多数取り出せば一波長または多波長連続光光源になる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 分布ブラッグ反射器を集積したモード同期半導体レーザを用いた繰り返し光パルス列発生手段と、

前記繰り返し光パルス列発生手段から発生した繰り返し光パルス列を入射して該繰り返し光パルス列のスペクトル幅を拡大する非線形光学媒質と、

前記非線形光学媒質によりスペクトル幅を拡大された光スペクトルからただ一つの縦モードからなる光スペクトル成分を、一つあるいは複数分波する波長分波器とを有することを特徴とする連続光光源。

【請求項2】 前記分布ブラッグ反射器はチャープグレーティングを構成することを特徴とする請求項1に記載の連続光光源。

【請求項3】 前記非線形光学媒質は正常分散分散平坦特性を有する光ファイバであることを特徴とする請求項1ないし2に記載の連続光光源。

【請求項4】 前記波長分波器は、前記非線形光学媒質によりスペクトル幅を拡大された光スペクトルからただ一つの縦モードからなる光スペクトル成分を複数分波するアレイ導波路型回折格子フィルタであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の連続光光源。

【請求項5】 前記波長分波器は、前記非線形光学媒質によりスペクトル幅を拡大された光スペクトルからただ一つの縦モードからなる光スペクトル成分をただ一つ分波する光フィルタであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の連続光光源。

【請求項6】 前記繰り返し光パルス列発生手段は、前記分布ブラッグ反射器を集積したモード同期半導体レーザの出力を増幅する光増幅器を有することを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の連続光光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重光伝送あるいは光信号処理に利用する多波長連続光光源あるいは一波長連続光光源として好適な連続光光源に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、光ファイバの伝送容量を増大させるために波長多重伝送方式が用いられている。一般に、多くの波長を有する波長多重伝送を行なうためには、その数に等しい光源を用意する必要がある。そのため、波長数が増大すると光源の数が増大し、光源のコストおよび光源の波長の正確な調整が問題となる。この問題を解決するために、1つの光源で多波長光を一括して発生させる多波長光源の実現が望まれている。

【0003】一括多波長光を発生させる技術としてスーパーコンティニウム光発生技術を用いて多波長光を発生させる多波長光源が報告されている。図6にその多波長光源の構成の模式図を示す。また、図7にその多波長光源の動作を説明するスペクトル図を示す。この動作概要

の説明をすると、短パルス光源61から発生した繰り返し光パルス列の光周波数スペクトルは、フーリエ変換の関係により繰り返し周波数に等しい周波数間隔の線スペクトル（縦モードと呼ぶ）で構成されている（図7の左側の光スペクトル71を参照）。

【0004】この光パルス列を光増幅器62により増幅して強い強度で光ファイバ63へ入射すると、光ファイバ63を伝搬中に、光ファイバ63中の光スペクトル相互の非線形光学効果により、もとの光スペクトルの短波長および長波長側に新たな光スペクトルが発生する。さらに光ファイバ63を伝搬するとその発生した光スペクトルのさらに短波長および長波長側に新たな光スペクトルが発生する。こうしたことを繰り返し、光ファイバ63を伝搬するうちに、入射した光スペクトルは広帯域な光スペクトルになる（図7の右側の光スペクトル72を参照）。この技術をスーパーコンティニウム光発生技術と呼ぶ。

【0005】従来、このスーパーコンティニウム光発生技術を利用した多波長パルス光源が数多く報告されている。たとえば「白色超短パルス光源（特開平8-29815号公報）」である。その発明では、スーパーコンティニウム光発生技術を利用して発生した広帯域白色スペクトルから波長分波素子を用いてスペクトル成分を抽出する。このとき、波長分波素子の帯域は複数の縦モードを取り出すように設定されているため、抽出された光はパルス光となる。

【0006】スーパーコンティニウム光発生技術を利用した多波長パルス光源の例として、繰り返し光パルス列発生手段に外部共振器型のモード同期半導体レーザを用いた多波長パルス光源が報告されている（“10-GHz, over 20-channel multiwavelength pulse source by slicing super continuum spectrum generated in normal-dispersion fiber”, Y. Takushima and K. Kikuchi, IEEE Photon. Tech. Lett. Vol. 11, No. 3, pp. 322-324, 1999参照）。図8にその多波長パルス光源の構成の模式図を、図9にその多波長パルス光源の動作を説明するスペクトル図を示す。外部共振器型のモード同期半導体レーザ81から発生した繰り返し光パルス列（図9の左側の光スペクトル91を参照）は、光増幅器82で増幅後、正常分散分散平坦特性を有するスペクトル拡大用光ファイバ83に入射される。

【0007】光ファイバ83中で光スペクトル相互の非線形光学効果により、もとの光スペクトルの短波長および長波長側に新たな光スペクトルが発生し、さらに光ファイバ83を伝搬するうちに、入射した光スペクトルは広帯域な光スペクトルになる（図9の中央の光スペクトル92を参照）。この広帯域な光スペクトルからアレイ導波路型回折格子フィルタ84を用いて複数のパルス光を取り出す（図9の右側の光スペクトル93を参照）。多波長パルス光の光キャリアの光周波数間隔（CH）

1, CH. 2...CH. N) は、使用するアレイ導波路型回折格子フィルタ 84 の特性によって定まる。この方法で多波長パルス光源が得られるが、現在主として用いられている多波長伝送方式は、光源として連続光を用いる NRZ (非ゼロ復帰: non-return-to-zero) 変調方式であり、図 9 から分かるように図 8 の従来の多波長パルス光源を NRZ 変調に用いるという目的には適さない。

【0008】そこで、スーパーコンティニウム光発生技術を利用して発生した広帯域な光スペクトルから光フィルタを用いて 1 つの縦モードを取り出すことで、連続光を発生する研究が進められている ("150+channel ultra-DWDM source with $N \times 10$ GHz spacing utilizing longitudinal mode slicing of supercontinuum" J. Kim et al., Technical Digest Optical Fiber Communication Conference 2000 ThA2 参照)。図 10 にその連続光光源の構成の模式図を、図 11 にその連続光光源の動作を説明するスペクトル図を示す。モード同期ファイバレーザ 101 および光増幅器 102 から構成されたスーパーコンティニウム光発生技術を利用して発生した広帯域な光スペクトル (図 11 の中央の光スペクトル 112 を参照) から、光フィルタ 104 を用いて 1 つの縦モードを取り出すことで、連続光を発生する (図 11 の右側の光スペクトル 113 を参照)。

【0009】光スペクトル 112 中には多くの縦モードが存在するから、それらの各々を光フィルタ 104 を用いて取り出せば、多波長連続光光源になる。この方法を用いると、多波長連続光の光周波数間隔が繰り返し周波数に相当し、一定であるため、波長の制御、管理が容易になる。

【0010】また、多波長連続光光源においては、雑音の少ないことが要求されており、その性能は信号対雑音比によって表される。この場合は、縦モードを取り出して電気信号に変換した後に、伝送信号に必要な帯域にわたって光源の相対強度雑音 (Relative Intensity Noise; RIN) を積分することにより、その信号対雑音比 (SN比) が求まる。この光を強度変調方式で変調する場合、符号誤り率が 10^{-9} 以下となるためには、21.6 dB 以上の信号対雑音比が要求される。上記参考文献中で筆者である Kim らは繰り返し光パルス列を発生する手段として、モード同期ファイバレーザ 101 を用いているが、モード同期ファイバレーザ 101 の縦モードの光周波数は温度の変化などにより変動しやすいという点がある。このファイバレーザ 101 の光周波数が揺らぐと、スーパーコンティニウム光の縦モードの光周波数が揺らぐため (図 11 の中央の光スペクトル 112 を参照)、光フィルタ 104 を用いて取り出した縦モードの出力強度も変動する。すなわち、光周波数の変動が強度雑音に変換され、信号対雑音比の劣化になる。そのため、図 10 の構成の連続光光源は、波長多重伝送用の多波長連続光光源としては適用できない。

【0011】一方、モード同期半導体レーザ 81 のただ一つの縦モードを取り出すと、一般にモード分配雑音と呼ばれる雑音が発生する。これは、モード同期半導体レーザ 81 の出力スペクトルの縦モード間で時間的にエネルギーが移り変わる現象に起因する。これにより、従来のモード同期半導体レーザ 81 においてただ一つの縦モードを取り出すと、モード同期半導体レーザ 81 の出力パルスに比べて信号対雑音比が劣化する。従って、繰り返し光パルス列を発生する手段として、従来のモード同期半導体レーザ 81 を用いてスーパーコンティニウム光を発生し、ただ一つの縦モードを取り出すと、モードが分配雑音により信号対雑音比が取り出す前よりも劣化するという点がある。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、従来のモード同期ファイバレーザやモード同期半導体レーザを繰り返し光パルス発生手段として用いてスーパーコンティニウム光を発生させ、ただ一つの縦モードからなる光スペクトル成分を分波すると、光周波数ゆらぎやモード分配雑音のため、信号対雑音比が悪いという点があった。そのため、従来のモード同期ファイバレーザやモード同期半導体レーザを利用した連続光光源は波長多重伝送用の光源としては十分な信号対雑音比を有していないという解決すべき課題があった。

【0013】本発明の目的は、上述のような課題を解決し、信号対雑音比が良い多波長連続光光源あるいは一波長連続光光源として好適な連続光光源を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項 1 の連続光光源は、分布ブラッグ反射器を集積したモード同期半導体レーザを用いた繰り返し光パルス列発生手段と、前記繰り返し光パルス列発生手段から発生した繰り返し光パルス列を入射して該繰り返し光パルス列のスペクトル幅を拡大する非線形光学媒質と、前記非線形光学媒質によりスペクトル幅を拡大された光スペクトルからただ一つの縦モードからなる光スペクトル成分を、一つあるいは複数分波する波長分波器とを有することを特徴とする。

【0015】ここで、前記分布ブラッグ反射器はチャープグレーティングを構成することを特徴とすることができる。

【0016】また、前記非線形光学媒質は正常分散分散平坦特性を有する光ファイバであることを特徴とすることができる。

【0017】また、前記波長分波器は、前記非線形光学媒質によりスペクトル幅を拡大された光スペクトルからただ一つの縦モードからなる光スペクトル成分を複数分波するアレイ導波路型回折格子フィルタであることを特徴とすることができる。

【0018】また、前記波長分波器は、前記非線形光学媒質によりスペクトル幅を拡大された光スペクトルからただ一つの縦モードからなる光スペクトル成分をただ一つ分波する光フィルタであることを特徴とすることができる。

【0019】また、前記繰り返し光パルス列発生手段は、前記分布ブラッグ反射器を集積したモード同期半導体レーザの出力を増幅する光増幅器を有することを特徴とすることができる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0021】（第1の実施形態）図1は本発明の第1の実施形態におけるスーパーコンティニウムを用いた連続光光源の構成を模式的に示す。図2にその連続光光源の動作を説明するスペクトル図を示す。分布ブラッグ反射器（DBR：distributed Bragg reflector）を集積したモード同期半導体レーザ11から発生した繰り返し光パルス列の光周波数スペクトルは、フーリエ変換の関係により、繰り返し周波数に相当する周波数間隔の縦モードで構成されている（図2の左側の光スペクトル21を参照）。

【0022】このパルス列21を光増幅器12で増幅して、強い強度で非線形光学媒質13へ入射すると、非線形光学媒質13を伝搬中に光スペクトル相互の非線形光学効果により、もとの光スペクトルの短波長および長波長側に新たな光スペクトルが発生する。さらに非線形光学媒質13を伝搬すると、発生した光スペクトルのさらに短波長および長波長側に新たな光スペクトルが発生する。こうしたことを繰り返して、非線形光学媒質13を伝搬するうちに、入射した光スペクトルは広帯域な光スペクトルになる（図2の中央の光スペクトル22を参照）。

【0023】この広帯域な光スペクトル22から1つの縦モードを取り出す波長分波器14を用いて、1つの縦モードを取り出せば連続光光源になる。光スペクトル中には例えば100以上の多くの縦モードが存在するから、1つの縦モードを複数取り出す光分波器14として、例えばアレイ導波路回折格子フィルタを用いて取り出せば、多波長連続光源になる（図2の右側の光スペクトル23を参照）。

【0024】また、光分波器14として1つの縦モードをただ1つ取り出す光フィルタを用いて取り出せば、一波長連続光源になる。

【0025】（第2の実施形態）図3に本発明の第2の実施形態における連続光光源の構成を模式的に示す。図2にその連続光光源の動作を説明するスペクトル図を示す。DBR集積モード同期半導体レーザ31から発生した繰り返し光パルス列の光周波数スペクトルは、フーリエ変換の関係により繰り返し周波数に相当する周波数間

隔の縦モードで構成されている（図4の左側の光スペクトル41を参照）。

【0026】このパルス列を光増幅器32で増幅して、強い強度で正常分散平坦光ファイバ33へ入射すると、光ファイバ33を伝搬中に光スペクトル相互の非線形光学効果により、もとの光スペクトルの短波長および長波長側に新たな光スペクトルが発生する。さらに、光ファイバ33を伝搬すると、発生した光スペクトルのさらに短波長および長波長側に新たな光スペクトルが発生する。こうしたことを繰り返して、光ファイバ33を伝搬するうちに、入射した光スペクトルは広帯域な光スペクトルになる。正常分散光ファイバを用いてスペクトル幅を広げると、スーパーコンティニウム光発生過程において、もとの繰り返しパルス光源からの信号対雑音比の劣化が小さいことが知られている。本実施形態では、広い波長範囲で正常分散である正常分散平坦光ファイバ33を用いるため、広がったスペクトルの全域において信号対雑音比の劣化が少ない。また、この光ファイバ33は分散平坦光ファイバであり、光ファイバの分散の波長依存性が小さいため、光スペクトルの広がりが広く、かつ均一である（図4の中央の光スペクトル42を参照）。

【0027】この広帯域な光スペクトル42から1つの縦モードを取り出す波長分波器34を用いて、1つの縦モードを取り出せば、連続光光源になる。光スペクトル中には例えば100以上の多くの縦モードが存在するから、1つの縦モードを複数取り出す光分波器34として、例えばアレイ導波路回折格子フィルタを用いて取り出せば多波長連続光源になる（図4の右側の光スペクトル43を参照）。

【0028】また、光分波器34として1つの縦モードをただ1つ取り出す光フィルタを用いて取り出せば、一波長連続光源になる。

【0029】さらに、第1および第2の実施形態とも、DBR集積モード同期半導体レーザ11、12のDBRは、チャープグレーティングを構成することにより、広い繰り返し周波数の範囲で動作させることができる。

【0030】（実験結果）図5のグラフは、図3に示した本発明の第2の実施形態の構成を用いた多波長連続光源の実験結果であり、信号対雑音比および光強度の波長依存性を示す。図5の曲線Aに示すように、本発明による多波長連続光源は、150以上の波長において28、2dB以上の信号対雑音比が得られ、多波長連続光源として十分な信号対雑音比を有していることがわかる。

【0031】これは、以下のように考えられる。繰り返し光パルス列発生手段としてDBR集積モード同期半導体レーザ11、31を用いたことが、本発明と従来の技術との違いである。本実験結果から、DBR集積モード同期半導体レーザ11、31を繰り返し光パルス列発生手段として用いて発生したスーパーコンティニウム光

は、従来のモード同期半導体レーザを繰り返し光パルス列発生手段として用いて発生したスーパーコンティニウム光に比べて、モード分配雑音はるかに小さく、一つの縦モードを取り出しても信号対雑音比が良いことがわかる。言い換えると、繰り返しパルス光源として DBR 集積モード同期半導体レーザ 11、31 を用いたことにより、スーパーコンティニウム技術を利用した多波長連続光光源の信号対雑音比は多波長伝送用の光源として利用可能になった。

【0032】さらに、本発明の第2の実施形態では、スペクトル幅を拡大する光ファイバとして正常分散ファイバ 33 を用いて光スペクトルを広げているので、信号対雑音比の劣化が少ない。言い換えると、繰り返しパルス光源として DBR 集積モード同期半導体レーザ 31 を用い、かつ、スペクトル拡大用の光ファイバとして正常分散平坦光ファイバ 34 を利用したことにより、スーパーコンティニウム技術を利用した多波長連続光光源は、より信号対雑音比の良い多波長伝送用の光源として利用可能になった。

【0033】また、本発明の多波長光源は、第2の実施形態では正常分散分散平坦光ファイバ 33 を用いたため、実験結果の図5の曲線Bの出力光強度からわかるように、取り出した連続光の強度が大きく、波長による強度のばらつきが小さいという特長を有している。

【0034】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明によれば、繰り返し光短パルスを非線形光学媒質に入力することにより多数の縦モードを発生させる連続光光源において、繰り返しパルス光源として分布ブラッグ反射器を集積したモード同期半導体レーザを用いたので、従来の繰り返し光短パルス光源の持つ光周波数揺らぎやモード分配雑音が少ないため、信号対雑音比の良い多数の連続光を発生できる効果がある。

【0035】また、本発明によれば、広い波長範囲で正常分散である正常分散分散平坦光ファイバを用いることで、広がったスペクトルの全域において信号対雑音比の劣化が少なく、さらに、発生した連続光の強度が大きく、波長による強度のばらつきが小さいというさらなる効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態におけるスーパーコンティニウム光発生技術を用いた連続光光源の構成を示す

模式図である。

【図2】図1の連続光光源の動作を説明するスペクトル図である。

【図3】本発明の第2の実施形態における連続光光源の構成を示す模式図である。

【図4】図3の連続光光源の動作を説明するスペクトル図である。

【図5】図3の本発明の第2の実施形態の構成を用いた多波長連続光光源の実験結果であり、信号対雑音比および光強度の波長依存性を示すグラフである。

【図6】スーパーコンティニウム光発生技術を用いて多波長光を発生させる従来の多波長光源の構成を示す模式図である。

【図7】図6の従来の多波長光源の動作を説明するスペクトル図である。

【図8】繰り返し光パルス列発生手段に外部共振器型のモード同期半導体レーザを用いた従来の多波長パルス光源の構成を示す模式図である。

【図9】図8の従来の多波長パルス光源の動作を説明するスペクトル図である。

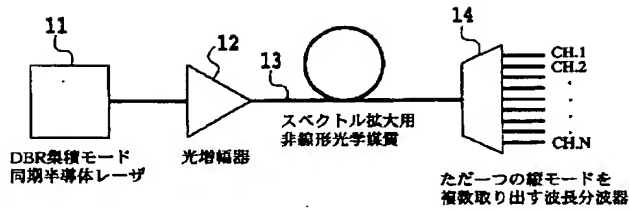
【図10】スーパーコンティニウム光発生技術を利用して発生した広帯域な光スペクトルから光フィルタを用いて1つの縦モードを取り出すことで、連続光を発生する従来の連続光光源の構成を示す模式図である。

【図11】図11の従来の連続光光源の動作を説明するスペクトル図である。

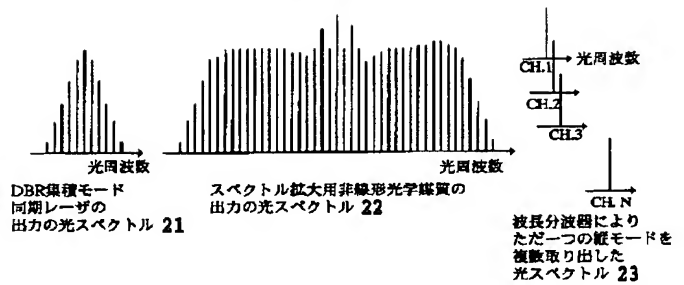
【符号の説明】

- 11、31 DBR集積モード同期半導体レーザ
- 12、32 光増幅器
- 13 スペクトル拡大用非線形光学物質
- 14、34 たゞ一つの縦モードを複数取り出す波長分波器
- 33 正常分散分散平坦光ファイバ
- 61 繰り返し光パルス列を発生する短パルス光源
- 62、82、102 光増幅器
- 63、103 光ファイバ
- 81 外部共振型モード同期半導体レーザ
- 83 スペクトル拡大用光ファイバ
- 84 パルス光を複数取り出すアレイ導波路型回折格子フィルタ
- 101 モード同期ファイバレーザ
- 104 たゞ一つの縦モードを取り出す光フィルタ

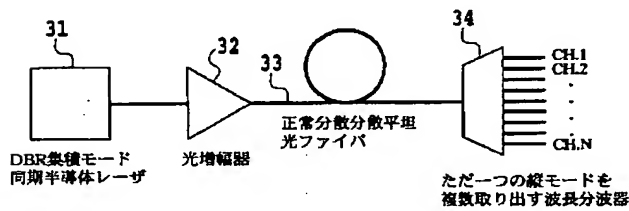
【図 1】



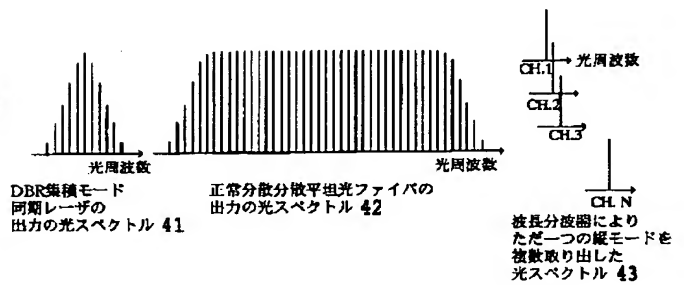
【図 2】



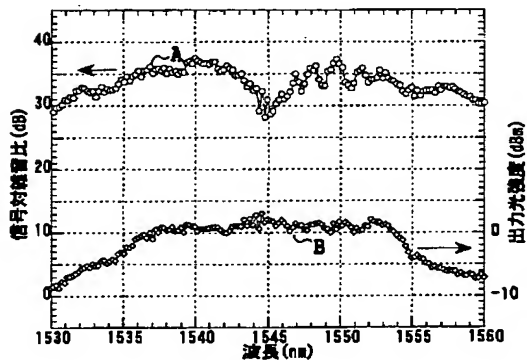
【図 3】



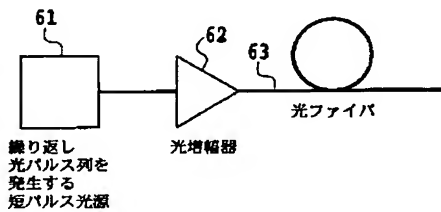
【図 4】



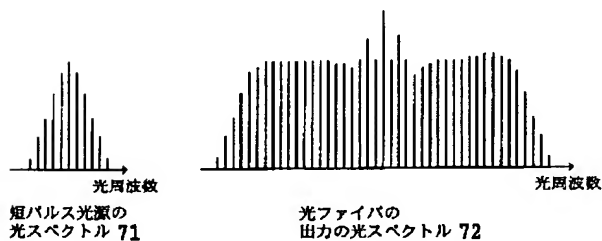
【図 5】



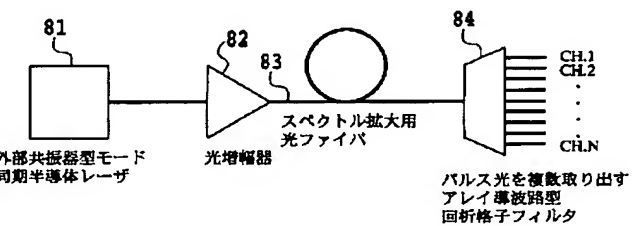
【図 6】



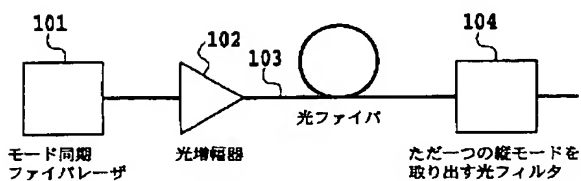
【図 7】



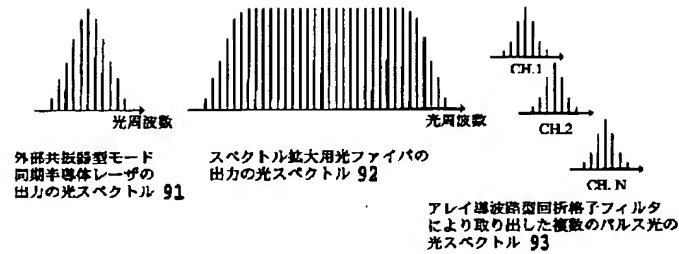
【図 8】



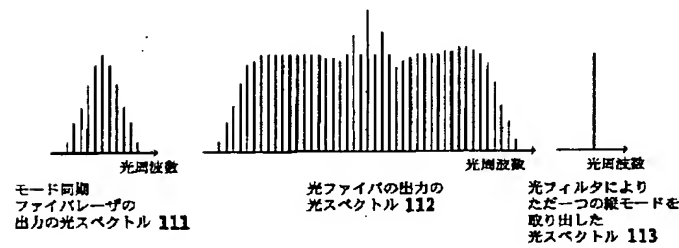
【図 10】



【図9】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 高良 秀彦
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 大原 拓也
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 盛岡 敏夫
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB12 BA02 CA15 DA10
HA26
5F072 AB07 AB13 AK06 KK07 KK30
QQ04 SS06 YY15
5F073 AA65 AB25 AB28 BA02